

Technická univerzita v Liberci

Fakulta Strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie

zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

**Optimalizace tažného nástroje pro výrobu víka typ Rubena 6", ve společnosti
Cedima Meziměstí s.r.o.**

**Optimization of the drawing tools for making the cover type Rubena 6", at
Cedima Meziměstí Ltd.**

Vojtěch Kousal

KSP - TP – B

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D. – TU v Liberci

Konzultant bakalářské práce: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D. – TU v Liberci

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 45

Počet tabulek: 7

Počet příloh: 6

Počet obrázků: 26

Datum: 24. 5. 2012

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI **Fakulta strojní**

Katedra strojírenské technologie **Oddělení tváření kovů a plastů**

Studijní program: B2341 - Strojírenství

Student: Vojtěch Kousal

Téma práce: Optimalizace tažného nástroje pro výrobu víka typ Rubena6", ve společnosti Cedima Meziměstí s.r.o.

Optimization of drawing tools for production of the lid 6", at Cedima Meziměstí Ltd.

Číslo BP:

Vedoucí BP: Ing. Pavel Doubek, Ph.D.

Konzultant: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.

Abstrakt:

Bakalářská práce předkládá návrh optimalizace tažného nástroje pro výrobu víka 6" z hlubokotažného ocelového plechu DC03 pro malosériovou výrobu. Práce zahrnuje problematiku tažení, parametry tažení a konstrukci tažných nástrojů. Pro operaci tažení byly provedeny kontrolní výpočty, zkoušky materiálu a konečná úprava tažného nástroje.

Klíčová slova: technologie tažení, tváření, rotační výtažek, tažný nástroj

Abstract:

Thesis submits a concept of optimization drawing tools for production of lid 6" of deep drawing sheet iron DC03 for small series production. The thesis includes problems around drawing, the parameters of drawing and drawing tools design. For drawing operations were performed control calculations, material testing and finishing of drawing tools.

Keywords: drawing technology, forming, rotary decoctions, drawing tool

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24. Května 2012

.....

Vojtěch Kousal

Husova ul. 656/28

460 17 Liberec 1

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Pavlu Doubkovi, Ph.D. a konzultantu panu Ing. Pavlu Solfornkovi za jejich odborné a metodické vedení a rady při zpracování bakalářské práce. Také bych rád poděkoval panu Ing. Tomáši Hartmanovi ze společnosti Cedima Meziměstí s.r.o. za věnovaný čas a materiály, které mi díky jeho pomoci byly poskytnuty.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1. Úvod | 8 |
| 2. Teoretická část | 9 |
| 2.1 Technologie tažení | 9 |
| 2.2 Napjatosti, deformace a tvorba vln | 10 |
| 2.3 Určování rozměrů přístříhu, počet tahů | 12 |
| 2.4 Tažná mezera, tažná rychlost, tažný poloměr | 13 |
| 2.5 Síla a práce | 16 |
| 2.6 Tažné nástroje | 18 |
| 2.7 Maziva a materiály vhodné k tažení | 23 |
| 2.8 Technologické zásady | 24 |
| 2.9 Tažné stroje | 25 |
| 3. Experimentální část | 26 |
| 3.1 Parametry výtažku | 26 |
| 3.2 Sestava tažného nástroje | 27 |
| 3.3 Tažný lis | 29 |
| 3.4 Zkouška tažnosti materiálu | 30 |
| 3.5 Měření vlivu maziva na ztenčení stěny výtažku | 32 |
| 3.6 Kontrolní výpočty současného stavu řešení | 35 |
| 4. Vyhodnocení výsledků a jejich diskuse | 39 |
| 5. Závěr | 40 |
| 6. Seznam použité literatury | 41 |
| 7. Seznam příloh | 43 |

Seznam použitých zkratk a symbolů

| Označení | Legenda | Jednotka |
|-------------------|--|--------------------|
| A | Tažná práce | [J] |
| A _{50mm} | Tažnost materiálu | [%] |
| C | Součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení m | [-] |
| D | Průměr přístřihu | [mm] |
| D ₀ | Výchozí průměr přístřihu | [mm] |
| d | Vnitřní průměr výtažku | [mm] |
| d _p | Průměr příruby výtažku | [mm] |
| F _c | Celkové tažná síla s přidržovačem | [N] |
| F _p | Přidržovací síla | [N] |
| F _t | Tažná síla | [N] |
| h | Výška výtažku | [mm] |
| K | Stupeň tažení | [-] |
| k | Koeficient | [-] |
| k ₁ | Materiálová konstanta | [-] |
| L | Délka obvodu výrobku | [mm] |
| m | Součinitel tažení | [-] |
| n | Počet tahů | [-] |
| p | Doporučený tlak přidržovače | [MPa] |
| R _m | Mez pevnosti | [MPa] |
| R _{p0,2} | Smluvní mez kluzu | [MPa] |
| R _{tc} | Poloměr zaoblení hrany tažnice | [mm] |
| R _{tk} | Poloměr zaoblení hrany tažníku | [mm] |
| S _p | Plocha polotovaru | [mm ²] |
| S _{př} | Velikost přidržované plochy | [mm ²] |
| S _v | Plocha výtažku | [mm ²] |
| t | Tloušťka plechu | [mm] |
| t ₀ | Počáteční tloušťka plechu | [mm] |
| t _{max} | Maximální tloušťka taženého materiálu | [mm] |
| t _p | Tloušťka polotovaru | [mm] |
| t _v | Tloušťka výtažku | [mm] |
| Z | Koeficient zaplnění plochy | [-] |
| z _m | Tažná mezera | [mm] |
| α | Porovnávací hodnota | [-] |

Pokud zkratky obsahují dolní index 1 nebo 2, znamená to, že jsou určeny pro první nebo druhý tah.

1. Úvod [26]

Práce se zabývá optimalizací nástroje na tažení víka 6" pro společnost Cedima s.r.o. Meziměstí. Důvodem je odstranění výroby vadných výrobků, které by vedlo ke zlepšení ekonomické stránky společnosti.

Společnost Cedima s.r.o. Meziměstí se v současné době zajišťuje necelou polovinou své kapacity výrobou řezacích a vrtacích strojů pro mateřskou firmu CEDIMA GmbH Celle, pokračuje v tradici výroby speciálních textilních strojů a vyrábí zdvojené podlahy a speciální příčkové systémy pro stavební a interiérový průmysl. V oblasti strojírenské výroby spolupracuje s celou řadou českých a zahraničních společností, se kterými rozvíjí širší a dlouhotrvající vzájemně výhodnou spolupráci. Objem exportu přesahuje 75%. V mém případě se jedná o společnost Rubena a.s., která je výrobcem pryžových, pryžokovových a pryžotextilních výrobků.

Technologie tažení se používá především v automobilovém a leteckém průmyslu. Avšak může se využít i v jiných průmyslových odvětvích pro výrobu součástí malých rozměrů až po součásti velkých rozměrů. Výrobky mohou být jak rotačních tak i nerotačních tvarů, kde neplatí podmínka osově souměrnosti. Z toho vyplývá, že tažením se dají vyrobit součásti, které by se jinými druhy technologií či obráběním jen těžko vyrobily. Tažení je také velmi ekonomické zásluhou velké úspory materiálu. Tato práce obsahuje pouze technologii tažení rotačních tvarů.

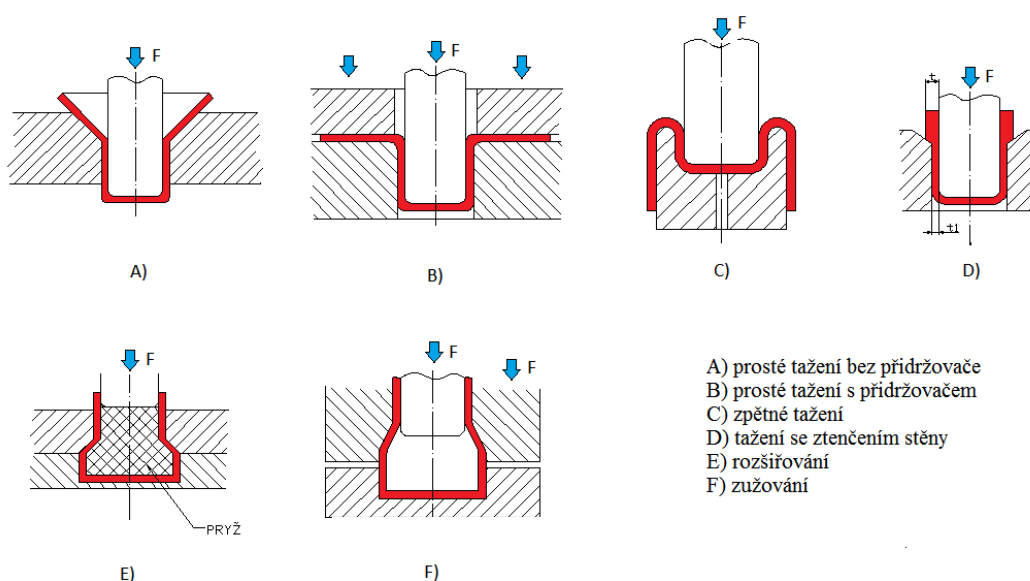


Obr. 1.1 Díly vyrobené technologií tažení [17]

2. Teoretická část

2.1 Technologie tažení [6]

Tažení je technologický proces, který spadá do kategorie plošného tváření. Polotovarem je pás plechu, přístřih plechu nebo jinak zpracovaný polotovár. Tažením plechů a pásů vzniká za působení vnějšího napětí a vnějších sil prostorový výlisek nerozvinutého tvaru. Podle tvaru výlisku lze proces tažení dělit na tažení mělké a hluboké, tažení se ztenčením nebo bez ztenčení stěny, tažení rotačních a nerotačních tvarů a dále na tažení nepravidelných tvarů. Existují různé technologie pro zpracování těchto polotovarů jako například (Obr. 2.1.1) : prosté tažení, zpětné tažení, tažení se ztenčením stěny, rozšiřování, zužování, lemování, přetahování, napínání a speciální způsoby.



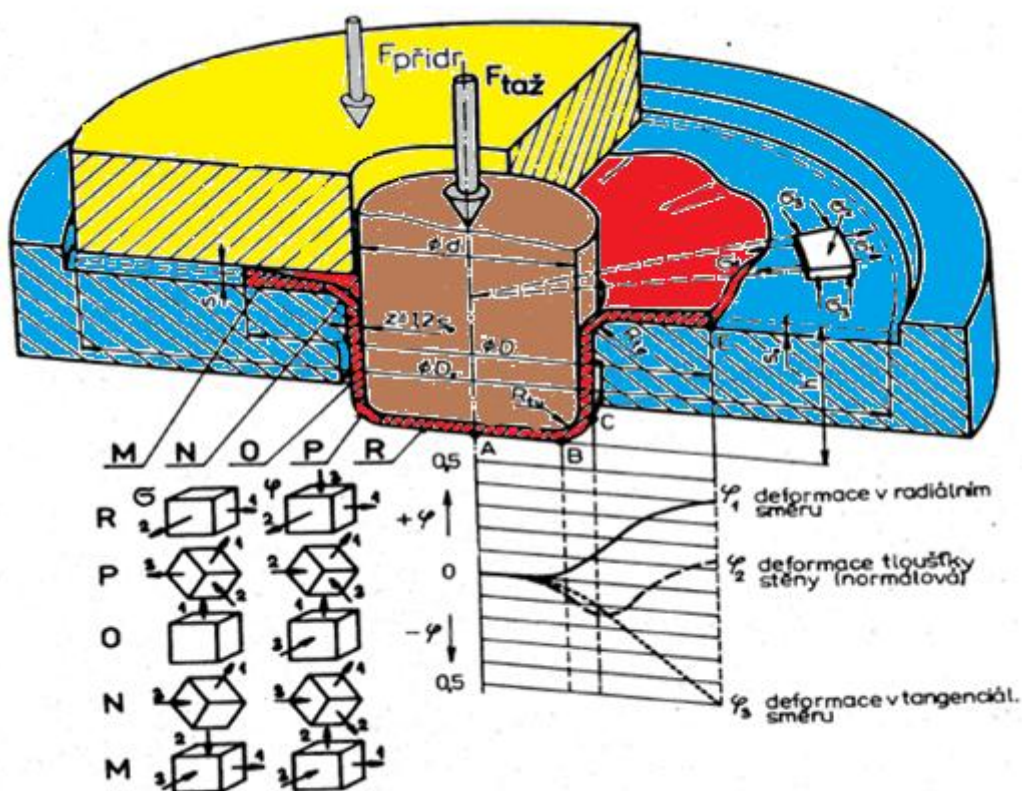
Obr. 2.1.1 Technologické způsoby tažení [6]

Nástrojem je tažidlo, které se skládá z tažníku, tažnice a dalších konstrukčních prvků (např. přidržovač, základací kroužek, základová deska). Výrobek se nazývá výtažek.

Změny vyvolané v materiálu změni i jeho mechanické vlastnosti: zvětší se jeho pevnost, zvýší se mez pružnosti, zvětší se tvrdost a sníží tažnost materiálu. Aby se dosáhlo dobré jakosti výtažku, musí se splnit tyto podmínky: použitý materiál (hlubokotažný nebo mosazný plech), vhodně konstrukčně vyřešený a provedený tažný nástroj, správný tlak přidržovače, volba vhodného lisu a správné mazání tvářeného materiálu.

2.2 Napjatosti, deformace a tvorba vln [6], [7], [9]

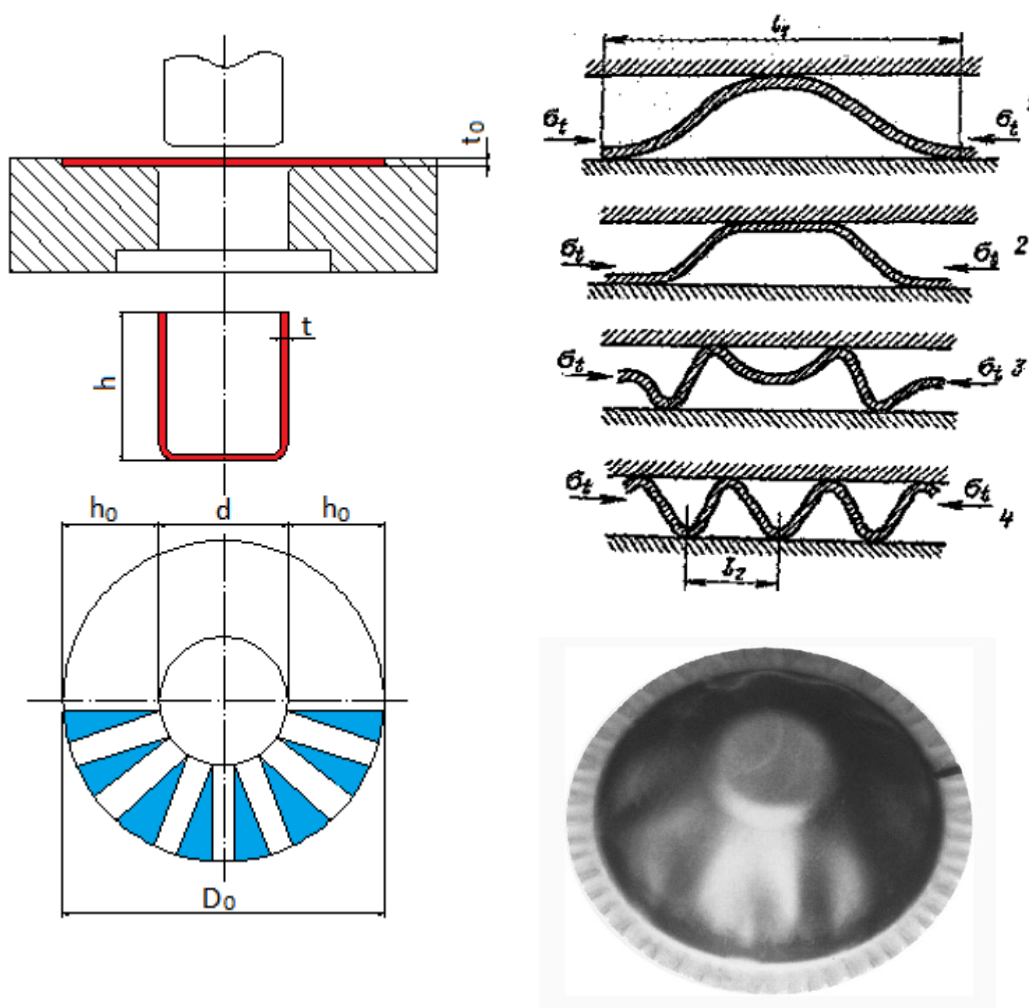
Napjatost je v jednotlivých místech výtažku různá a dochází zde k anizotropii mechanických vlastností materiálu. Anizotropie je v podstatě nestejnornost vlastností materiálu v různých směrech souřadného systému. V oblasti dna (R) výtažku je napjatost rovinná tvořena tahovým radiálním napětím a tahovým tečným napětím. Dno se vytahuje nepatrně a stejnoměrně do obou směrů. Ve válcové stěně výtažku (O) je napjatost pouze jednoosá, tvořená tahovým radiálním napětím, protože zde působí pouze tahová síla. V přírubě výtažku (M) pod přidržovačem je napjatost rovinná, tvořená radiálním tahovým napětím a tečným tlakovým napětím. Při použití přidržovače zde bude působit i třetí tlaková složka, působící ve směru tloušťky stěny, jejíž velikost lze vzhledem k ostatním složkám zanedbat. Na hraně tažnice (N) je plně rozvinutá prostorová napjatost tvořená radiálním napětím, napětím tečným a napětím ve směru tloušťky stěny. Na hraně tažníku (P) je stav napjatosti shodný s místem (N). Největší deformace vznikají v místě (P) u dna výtažku, protože je zde vysoké tahové napětí. Důsledkem je zeslabování tloušťky stěny, které vede k nebezpečí utření dna výtažku.



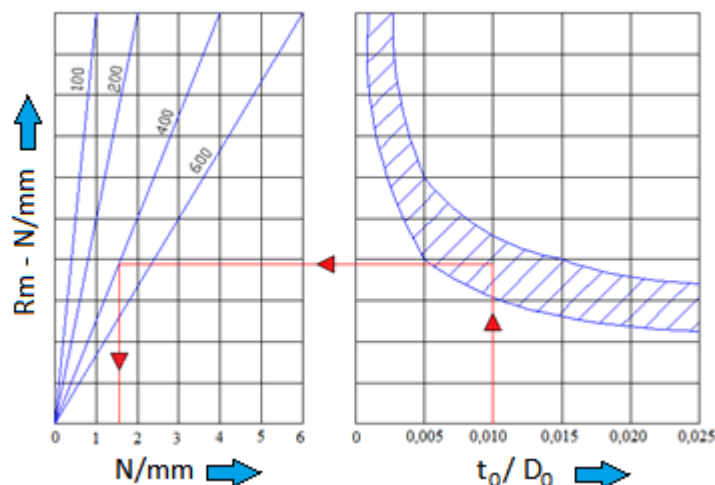
Obr. 2.2.1 Schéma napětí a deformací při tažení s přidržovačem [9]

Tvorba vln [6]

Při tažení se přesouvá značné množství materiálu. Na obr. 2.2.2 je tento materiál vyznačen modrými trojúhelníky. Tento objem materiálu se v průběhu tažení vytlačuje, zvětšuje výšku nádoby a mění tloušťku stěny. Jelikož při tažení postupuje materiál od příruby do válcové části, má plech v místě příruby snahu se vlnit a to především při vysokém stupni deformace. Zabránit vzniku vln lze pomocí přidržovače, ovšem je nutné znát velikost měrného tlaku přidržovače. Měrný tlak přidržovače vychází z poměru tloušťky stěny a průměru polotovaru, jakosti plechu a součinitele tažení plechu. K určení měrného tlaku lze použít např. grafu (Obr. 2.2.3).



Obr. 2.2.2 Přemístění materiálu při hlubokém tažení válcového tvaru (vlevo) [6], schéma tvorby vln a zvlněný výtažek (vpravo) [18]



Obr. 2.2.3 Graf na zjištění měrného tlaku přidržovače pro první tah [6]

2.3 Určování rozměrů přístřihu, počet tahů [1], [6], [9]

Celkové přetvoření plechu při tažení je značné, proto nelze ve většině případů vytáhnout výtažek na jednu operaci. Z tohoto důvodu se první tah provádí mělký a o velkém průměru. Všechny další tahy se provádějí vždy na menší průměr, kdy současně roste výška výtažku. Počet tahů je poměr průměru výtažku k průměru přístřihu. Při vyčerpání plastičnosti je nutné provést mezioperační žihání.

Určení rozměru přístřihu je velmi důležité, protože významně ovlivňuje kvalitu výtažku. Provádí se pomocí různých tabulek a grafických metod z odborných knih. U válcové součásti je to rondel, jehož průměr se stanoví z rovnosti ploch výtažku a přístřihu:

$$S_p \cdot t_p = S_v \cdot t_v \quad (1)$$

S_p plocha polotovaru [mm^2]

S_v plocha výtažku [mm^2]

t_p tloušťka polotovaru [mm]

t_v tloušťka výtažku [mm]

U plechů s $t > 2$ se počítá rozvinutá délka ze střední tloušťky. Příklad na průměr polotovaru činí přibližně 3% pro první a 1% pro další tahy.

Pro určení maximální deformace na jeden tah a počtu tažných operací, se používá součinitel tažení nebo také stupeň tažení, který se vypočte pro první tah:

$$m = \frac{d}{D_0} = \frac{1}{K} \quad (2)$$

m součinitel tažení [-]

d vnitřní průměr výtažku [mm]

D₀ ... výchozí průměr přístřihu [mm]

K stupeň tažení [-]

Pro další tahy se součinitel tažení počítá obdobně. Celkový součinitel tažení se rovná součinu jednotlivých součinitelů tažení. Pro hlubokotažnou ocel a mosaz se volí součinitel tažení m dle tab. 2.3.1.

[Tab. 2.3.1] Součinitel tažení válcových výtažků z kruhových přístřihů [9]

| Součinitel tažení | Poměrná tloušťka polotovaru t/D . 100 [%] | | | | | |
|----------------------|---|------------|------------|------------|------------|-----------|
| | 0,1 až 0,3 | 0,3 až 0,6 | 0,6 až 1,0 | 1,0 až 1,5 | 1,5 až 2,0 | nad 2,0 |
| m ₁ | 0,60-0,58 | 0,58-0,56 | 0,56-0,54 | 0,54-0,52 | 0,52-0,50 | 0,50-0,48 |
| m ₂ | 0,82-0,81 | 0,81-0,80 | 0,80-0,79 | 0,79-0,78 | 0,78-0,77 | 0,77-0,76 |
| m ₃ | 0,83-0,82 | 0,82-0,81 | 0,81-0,80 | 0,80-0,79 | 0,79-0,78 | 0,78-0,77 |

Pomocí součinitelů tažení se vypočtou průměry výlisků:

$$d_1 = D_0 \cdot m_1$$

$$d_2 = d_1 \cdot m_2 \quad \text{atd.} \quad (3)$$

Počet tahů n se vypočte ze vztahu:

$$n = 1 + \frac{\log d_n - \log (m_1 \cdot D)}{\log m_n} \quad (4)$$

n počet tahů [-]

2.4 Tažná mezera, tažná rychlost, tažný poloměr [10], [11]

Tažná mezera [10]

Tažná mezera je mezera mezi tažníkem a tažnicí. Volí se větší než tloušťka plechu z důvodu, aby se materiál mohl při vytahování přemístit a nepěchoval se. Příliš velká tažná mezera způsobuje zvlněný výtažku. Při kalibraci je tažná mezera stejná jako tloušťka, aby se dosáhlo čisté plochy bez zborcení. Pro stanovení tažné mezery se použijí tyto vztahy:

$$\text{Pro první tah:} \quad z_m = (1,2 \div 1,3) \cdot t_0 \quad (5)$$

$$\text{Pro další tahy:} \quad z_m = (1,1 \div 1,2) \cdot t_0 \quad (6)$$

z_m tažná mezera [mm]

t₀ počáteční tloušťka plechu [mm]

Výpočet tažné mezery dle Oehlera:

$$z_m = t_{max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot t_0} \quad (7)$$

t_{max} maximální tloušťka taženého materiálu [mm]

k koeficient dle tab. 2.4.1

[Tab. 2.4.1] Koeficient k pro různé materiály [10]

| Materiál | Koeficient k |
|------------------------|----------------|
| Ocel | 0,07 |
| Hliník | 0,02 |
| Ostatní neželezné kovy | 0,04 |

Tažná rychlost [10]

V průběhu běžného tažení by neměla rychlost tažení přesáhnout určitou hranici. Při překročení této hranice by mohlo dojít k porušení výtažku. Největší tažná rychlost je tehdy, kdy tažník dosedá na materiál. Nejnižší je v okamžiku skončení tažení.

[Tab. 2.4.2] Doporučené rychlosti tažení [10]

| Tažený materiál | Tažná rychlost ($m \cdot min^{-1}$) |
|-----------------------|---------------------------------------|
| Hořčík a jeho slitiny | 0,25 |
| Korozivzdorná ocel | 7 |
| Nelegovaná ocel | 17 |
| Hliník a jeho slitiny | 25 |
| Měď a jeho slitiny | 66 |

Tažný poloměr [8], [11]

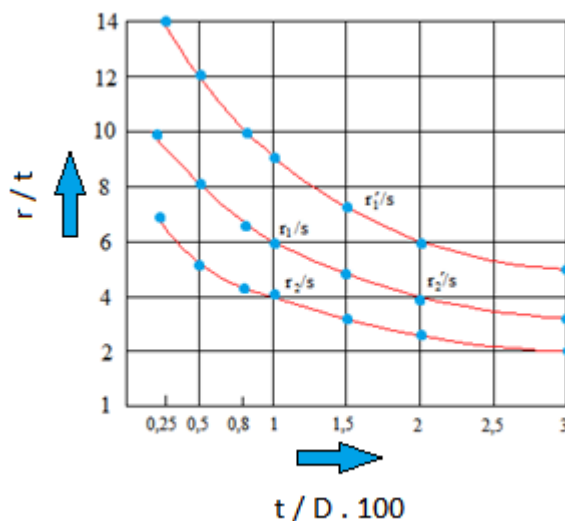
Tažný poloměr je znám jako zaoblení hrany tažnice, přes kterou je kov tažen. Zaoblení této hrany značně ovlivňuje průběh operace tažení. Ovlivňuje velikost napětí v materiálu, velikost tažné síly a vznik vad při tažení. Při malém zaoblení hrany tažnice může dojít k trhání materiálu. Naopak při velkém zaoblení hrany dochází ke zvlnění okraje výtažku. Doporučené zaoblení tažné hrany tažnice je asi $(4 \div 10)$ násobek tloušťky taženého materiálu. Lze ho určit pomocí grafu (Obr. 2.4.1) nebo pomocí tohoto vztahu:

$$R_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d) \cdot t} \quad (8)$$

R_{tc} ... poloměr zaoblení hrany tažnice [mm]

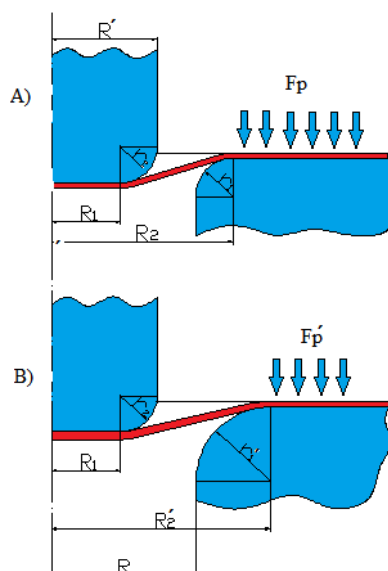
t tloušťka plechu [mm]

D průměr přístřihu [mm]



Obr. 2.4.1 Graf velikosti zaoblení tažníku a tažnice v závislosti na tloušťce polotovaru [8]

Na obr. 2.4.2 můžeme vidět jaký vliv má zaoblení tažné hrany na velikost přidržovací síly. U varianty b) je velké nebezpečí vzniku sekundárních vln, protože zde působí vlivem většího zaoblení menší přidržovací síla. Poloměr zaoblení tažníku se volí asi $(1,5 \div 2) \times$ menší než poloměr zaoblení tažnice.



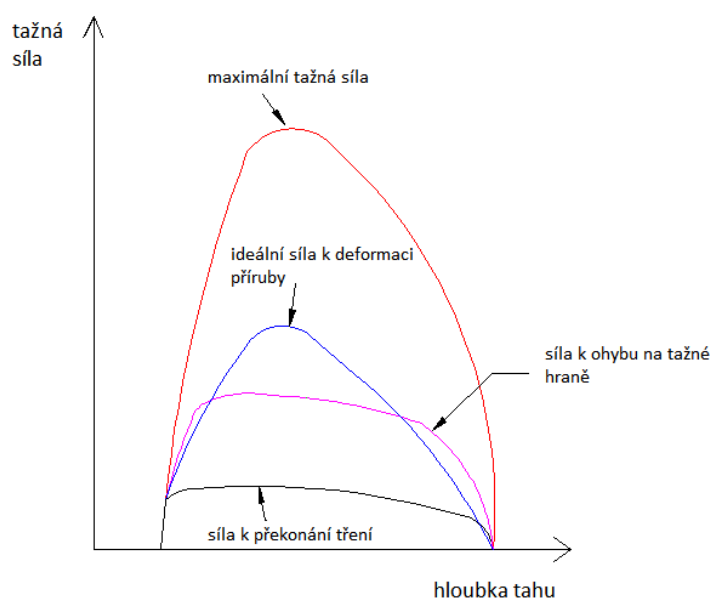
Obr. 2.4.2 Vliv zaoblení tažné hrany na velikost přidržovací síly [8]

2.5 Síla a práce [6], [8], [10], [11]

Matematických vzorců pro výpočet tažné práce je velká řada a jsou celkem komplikované, a proto se zjednodušují. Celková tažná síla se skládá z několika složek. Nejvýznamnější je tažná síla, dále to pak mohou být síla přidržovací nebo síla vyhazovače.

Tažná síla [6], [8], [10], [11]

Praktické vzorce vycházejí z toho, že dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být menší, než napětí na mezi pevnosti R_m . Tedy největší tažná síla musí být o něco menší, než síla, která způsobí utržení dna výtažku od bočních stěn. Maximální tažné síly se dosáhne přibližně v polovině tahu (Obr. 2.5.1).



Obr. 2.5.1 Podíl složek tažné síly na maximální tažné síle [8]

Velikost tažné síly pro rotační tvar výtažku se pro nástroj bez přidržovače, pro první a další tahy zjednodušeně vypočte podle vztahu:

$$F_t = C \cdot \pi \cdot d \cdot t_0 \cdot R_m \quad (9)$$

F_t tažná síla [N]

R_m ... mez pevnosti [MPa]

C součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení m [-] ...(Tab. 2.5.1)

[Tab.2.5.1] Hodnoty součinitele C [11]

| Součinitel m | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,95 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| C pro 1. tah | 1,0 | 0,86 | 0,72 | 0,60 | 0,50 | 0,40 | - | - | - |
| C pro 2. tah | - | - | - | 1,0 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,50 |

Přidržovací síla [6], [8], [10], [11]

Velikost přidržovací se vypočte ze vztahu:

$$F_p = S_{př} \cdot p \quad (10)$$

F_p přidržovací síla [N]

$S_{př}$... velikost přidržované plochy [mm²]

p doporučený tlak přidržovače [MPa](Tab. 2.5.2)

[Tab. 2.5.2] Doporučený tlak přidržovače [11]

| Materiál | Doporučený tlak |
|-------------------|-----------------|
| Hlubokotažná ocel | (2 ÷ 3) MPa |
| Antikorozní ocel | (2 ÷ 5) MPa |
| Mosaz | (1,5 ÷ 2) MPa |
| Měď | (1,2 ÷ 1,8) MPa |
| Hliník | (0,8 ÷ 1,5) MPa |

Celková tažná síla [6], [8], [10], [11]

Celková velikost tažné síly pro nástroj s přidržovačem, pro první a další tahy se zjednodušeně vypočte ze vztahu:

$$F_c = F_t + F_p = L \cdot t \cdot R_m + S_{př} \cdot p \quad (11)$$

F_c celková tažná síla s přidržovačem [N]

L délka obvodu výrobku [mm]

Tažná práce [6], [8], [10], [11]

Velikost tažné práce se vypočte ze vztahu:

$$A = F_c \cdot h \cdot Z \quad (12)$$

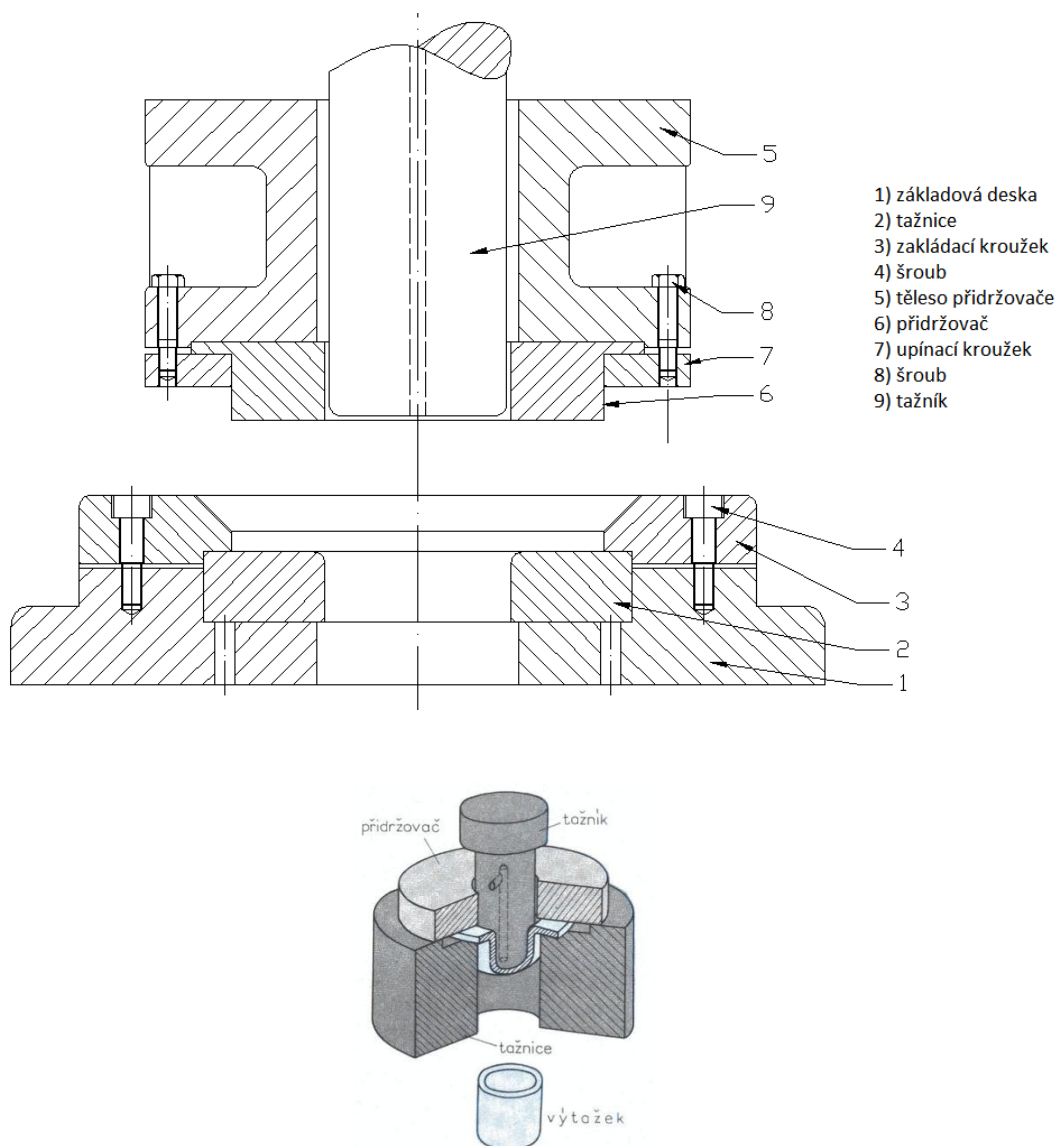
A tažná práce [J]

h výška výtažku [mm]

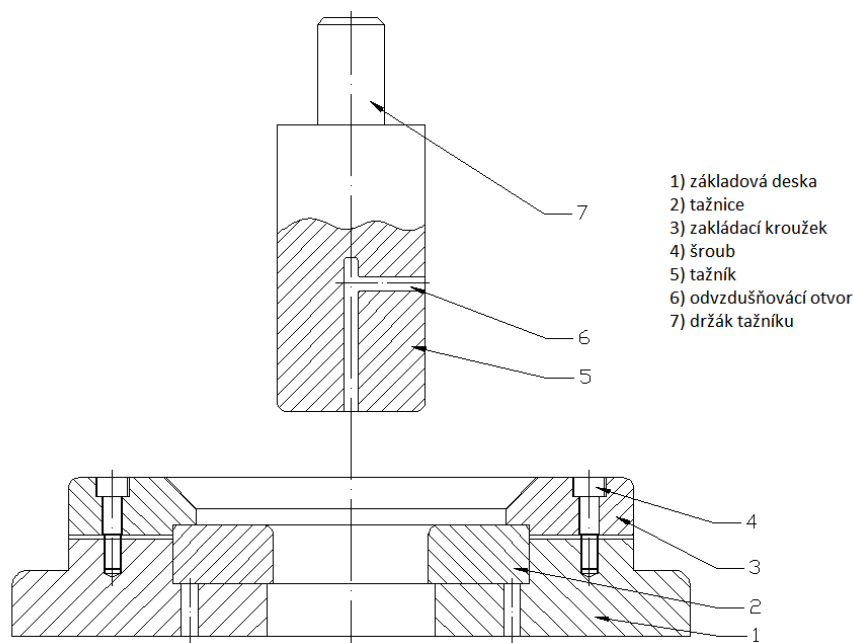
Z koeficient zaplnění plochy, který se pohybuje v rozmezí (0,6 ÷ 0,8) [-]

2.6 Tažné nástroje [6], [8], [9], [10], [12]

Hlavními částmi tažného nástroje jsou tažník, tažnice a případně přidržovač, který brání zvlnění plechu při tažení. Dalšími částmi jsou např. stírač, zakládací kroužky a vyhazovač. Nástroje se dělí podle charakteru práce, kterou vykonávají, na tažné nástroje pro první tah nebo tažné nástroje na další tahy. Ty se dále dělí na tažné nástroje jednoduché, sloučené a speciální. Podle druhu lisu mohou být tažné nástroje určené pro jednočinné lisy, dvojčinné, trojčinné a postupové lisy. Dále se dělí na nástroje bez přidržovače (Obr. 2.6.2) nebo s přidržovačem (Obr. 2.6.1).



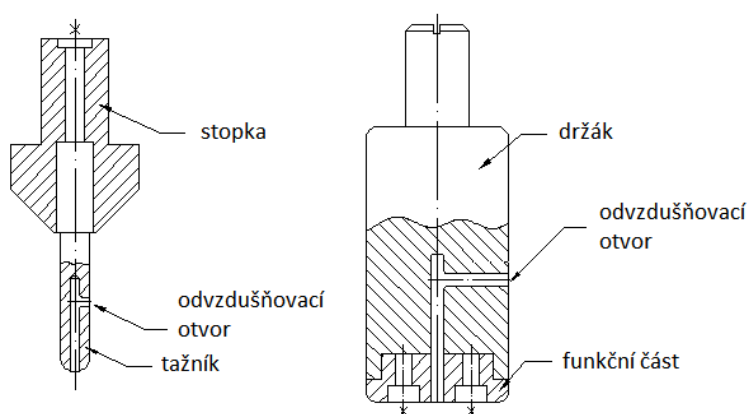
Obr. 2.6.1 Tažný nástroj pro 1. Tah s přidržovačem [6], [8]



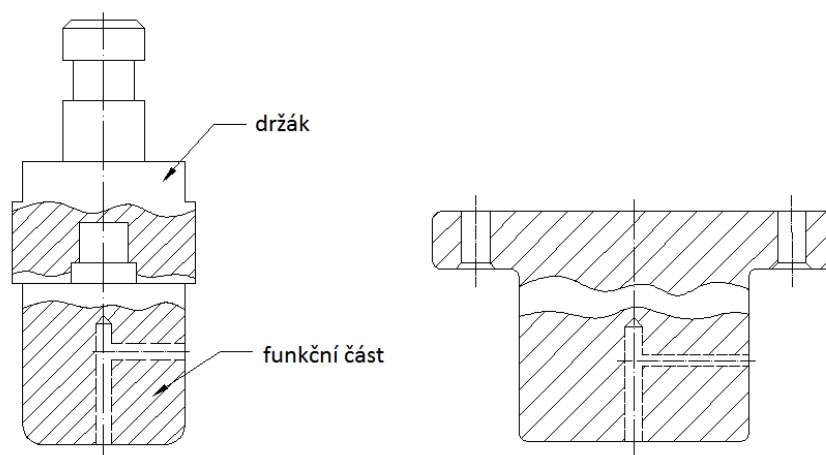
Obr. 2.6.2 Tažný nástroj bez přidržovače [8]

Tažník [6], [8], [9], [10], [12]

Vnější tvarem tažníku je následná podoba výtažku z vnitřní strany. Mezi funkční části tažníku patří čelo, poloměr zaoblení a válcová část. Mohou být buď celistvé, nebo dělené. Nejvíce namáhanou částí je zaoblená část tažníku. Vyrábí se z konstrukčních ocelí, tažná hrana bývá z nástrojové oceli, která je buď zalcovaná, nebo přivařena k tažníkovému základu. Důležité je odvrtný otvor pro odvod vzduchu, který zůstává uvnitř tažníku, jinak by se výtažek těžko stíral. Otvory mají průměr $(5 \div 6)$ mm a většinou se umísťují do osy tažníku. Ve výjimečných případech, kdy by otvor mohl způsobit narušení pevnosti tažníku, se používají tažníky se zkosenu hranou.



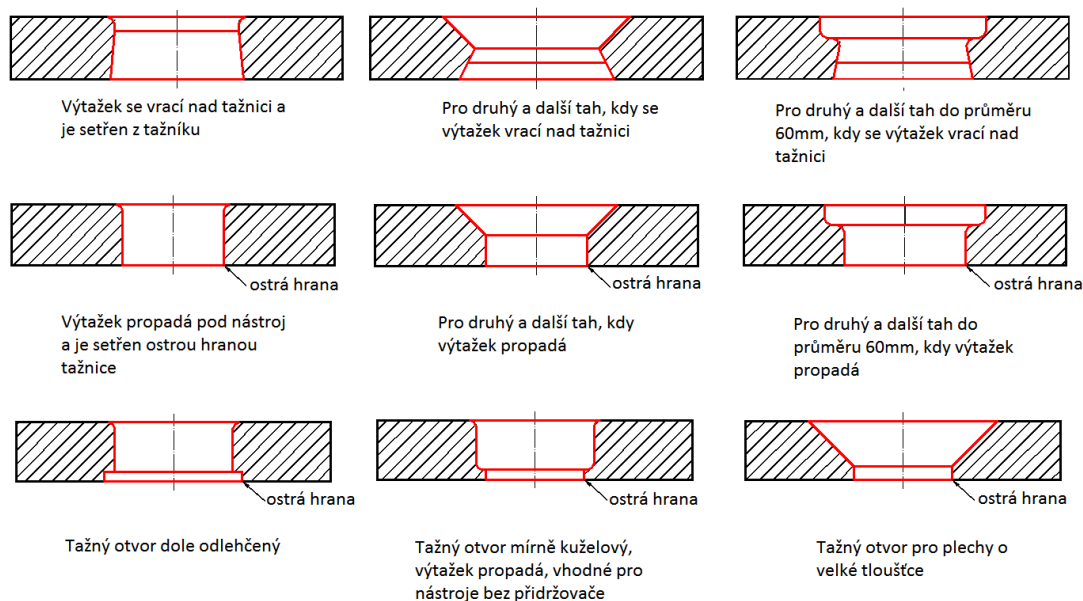
Obr. 2.6.3 Tažníky pro malé průměry (vlevo), pro velké průměry (vpravo) [12]



Obr. 2.6.4 Tažníky pro tažné lisy (vlevo), pro výstředníkové lisy (vpravo) [12]

Tažnice [6], [8], [9], [10], [12]

Tažnice má tvar kroužku, vsazeného do základové desky nebo objímky. Výška válcové části tažnice se volí podle kvality povrchu, velikosti tažné mezery, mechanických vlastností, způsobu a druhu mazání. Rozsah bývá mezi $(2 \div 8)$ násobkem tloušťky taženého materiálu. Z konstrukčního hlediska se tažnice vyrábí jako celistvé. Pouze pro výlisky s menším průměrem nebo pro tažnice dělené je tažná hrana vyvložkovaná. Tyto vložky jsou do tažnice zalisovány s předpětím. Úprava otvorů v tažnicích může snížit tření výtažku v tažnici, takže výtažek zůstane na tažníku a odstraní jej stírač. Pokud výtažek vychází spodní stranou, má tažnice na své spodní straně ostrou hranu, kterou je výtažek po odpružení setřen. V horní části je tažnice opatřena tažnou hranou. Je to nejdůležitější část tažnice, která zajišťuje správný průběh tažení. V praxi se používá zaoblení menšího poloměru, protože se tím dosáhne rovného okraje výtažku, hladké stěny výtažku a delší trvanlivosti nástroje. Nevýhodou je velká tažná síla a trhání dna výtažku. Na obr. 2.6.5 jsou zobrazeny různé druhy tažnic.



Obr. 2.6.5 Druhy tažných otvorů [13]

Přidržovač [6], [8], [9], [10], [11], [12]

Mohou být pružinové, pryžové, pneumatické a hydraulické. Nevýhodou pružinových, pryžových přidržovačů je síla, která vzniká v průběhu tažení a tím se ztěžuje vtahování materiálu do tažnice. Tím dochází k zeslabování stěny nebo utržení dna výtažku. Pneumatické a hydraulické nám umožňují táhnout obtížnější výlisky. Velikost přidržovací síly závisí na tloušťce, druhu materiálu a redukci při zatížení. Pro zjištění, zda je potřeba použít přidržovač existuje několik metod:

a) výchozí metoda dle ČSN 22 7301:

$$\alpha = 50 \cdot \left(k_1 - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{D}} \right) \quad (13)$$

k_1 materiálová konstanta [-]..... (Tab. 2.6.1)

α porovnávací hodnota [-]

[Tab. 2.6.1] Materiálová konstanta [11]

| Materiál | k_1 |
|--------------------|-------|
| Hlubokotažný plech | 1,9 |
| Mosazný plech | 1,95 |
| Hliníkový plech | 2 |

platí že:

$$\alpha \geq \left(\frac{100 \cdot d}{D} \right) \dots \text{tažení s přidržovačem} \quad (14)$$

$$\alpha < \left(\frac{100 \cdot d}{D} \right) \dots \text{tažení bez přidržovače} \quad (15)$$

b) metoda podle Hofmana:

Tažení bez přidržovače pokud platí že:

$$D - d \leq 18 \cdot t_0 \quad (16)$$

c) metoda dle Freidlinga:

$$\frac{t_0}{D} \cdot 100 < 1,5 \dots \text{tažení s přidržovačem} \quad (17)$$

$$\frac{t_0}{D} \cdot 100 > 2 \dots \text{tažení bez přidržovače} \quad (18)$$

Pokud se pohybujeme v rozmezí $(1,5 \div 2)$ musí se vyzkoušet.

Stírač [12]

Může být upevněn v nepohyblivé části lisu nebo být částí tažného nástroje. Proto se volí pro jednotlivé případy zvlášť. Funkci stírače může mít také přidržovač nebo i tažnice.

Zakládací kroužky [12]

Zajišťují správnou polohu polotovaru v tažném nástroji, kterou lze zajistit i vhodnou úpravou otvorů v tažnicích.

Vyhazovač [12]

Hlavní úlohou je odstraňování výtažku z tažnice. Nejčastěji se používá mechanických vyhazovačů, u kterých je funkce vázaná na pohyb beranu lisu. Pro lehké výtažky se používají pružiny nebo pryžové vložky a pro těžší výtažky vzduchové vyhazovače umístěné pod stolem lisu.

2.7 Maziva, [6], [10], [11]

Maziva se používají ke zlepšení kvality povrchu a snížení tření. Nemaže se celý přístřih. Ze strany tažníku je výhodné mít tření co nejvyšší, kdežto ze strany tažnice je nejlepší tření co nejvíce snížit. Mezi přidržovačem a taženým materiálem se používá mazivo nejlepší kvality. Prostředky, které se používají pro mazání, nesmí poškodit povrch nástroje ani výrobku. Mazivo musí lehce přilnout a vytvořit rovnoměrnou vrstvu. Vhodná maziva by měla snížit tření natolik, aby tažné síly nezpůsobily porušení materiálu, zabránit poškrábání taženého povrchu a snížit opotřebení tažných nástrojů.

Důležitou vlastností je také snadná odstranitelnost maziva z hotového výlisku. Platí, že čím je lepší mazivo, tím se obtížněji odstraňuje z povrchu výlisku. Mezi nejčastěji používaná maziva patří:

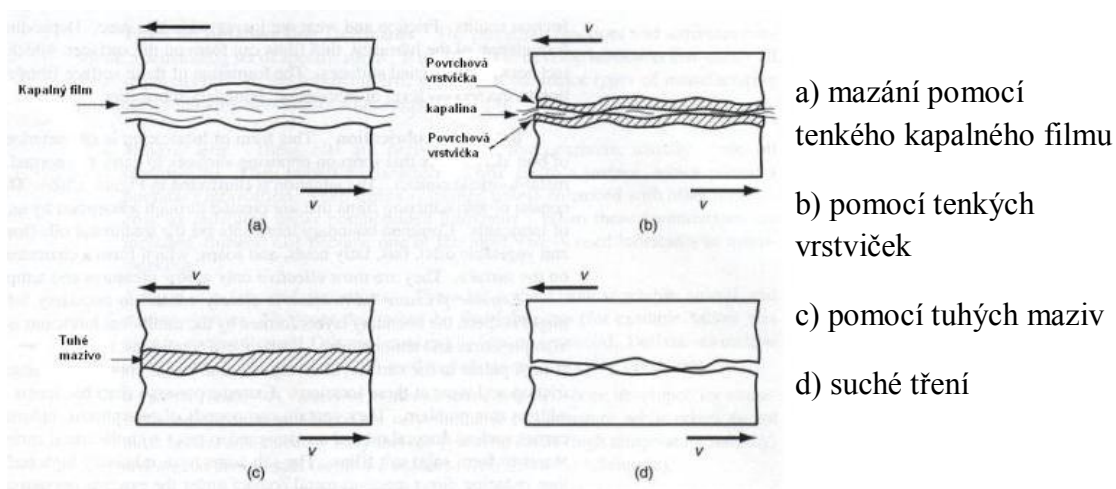
grafit – tuhé mazivo, které patří mezi nejkvalitnější mazivo, ovšem je velice těžce odstranitelné

lanolín, lůj – snižují zatížení tvářecích strojů, nejsou vhodné pro hluboké tahy, při zvýšených povrchových teplotách nástroje má lepší viskózní vlastnosti než minerální oleje

hypoidní maziva – směsi minerálních olejů se sloučeninami obsahující síru a chlor

mýdlová maziva – směsi solí, mastných kyselin a kovů podle pracovní teploty se dělí na tuhá, polotuhá a tekutá

Volba vhodného maziva závisí především na velikosti tvářecích tlaků, provozní teplotě, požadované intenzitě mazání s přihlédnutím na chlazení tažidla, pracnosti a nákladech na nanášení a odstraňování maziva. Někdy je potřeba druh maziva, jeho množství a způsob nanášení jednotlivě vyzkoušet.



Obr. 2.7.1 Základní princip mazání [14]

Materiály vhodné k tažení [15]

Základní vliv na schopnost materiálu se plasticky deformovat bez porušení, má značný vliv struktura, chemické složení a velikost a tvar zrn. Plechy se vyrábějí metodou válcování. Materiály se srovnávají pomocí hodnot získaných při tahové zkoušce materiálu. Těmito hodnotami mohou být mez kluzu, mez pevnosti, hodnoty exponentu zpevnění a součinitele normálové anizotropie.

Obecně se rozdělují do čtyř skupin z hlediska tváritelnosti plechů:

MT – jakost vhodná k mírnému zatížení

ST – jakost vhodná ke střednímu zatížení

HT – jakost vhodná k hlubokému zatížení

VT – jakost vhodná k velmi hlubokému zatížení

Zařazení jednotlivých druhů plechů do těchto skupin probíhá na základě mechanických vlastností a chemického složení. Přesnějšího zatřídění lze dosáhnout na základě dalších kritérií tváritelnosti (metalografická analýza, koeficient plošné a normálové anizotropie, exponent zpevnění, mezní křivky deformace atd.). Z hlediska mechanických vlastností jde o ocelové plechy s mezí kluzu $220 \div 280$ Mpa, s mezí pevnosti 290 až 520 Mpa a tažností $25 \div 36\%$ s obsahem C 0,07 až 0,20% a Mn 0,40 ÷ 0,80%. Jde o plechy neuklidněné se sklonem ke stárnutí a uklidněné (nestárnoucí). Stárnutí ocelových plechů je souhrn změn fyzikálních a mechanických vlastností, k nimž dochází v průběhu uložení plechů při pokojové teplotě, popř. při teplotě zvýšené. Nejvýznamnější je z hlediska tváritelnosti stárnutí po plastické deformaci za studena. V tomto případě se projevuje mez kluzu charakteristickým kolísáním napětí a značnou deformací na mezí kluzu (tzv. Lüdersova deformace). Tato deformace úzce souvisí s výskytem vrásek (kluzových čar) na výliscích.

2.8 Technologické zásady [6]

Z hlediska technologie je nutné dodržet určité zásady, mezi které patří:

- výška výtažku má být co nejmenší
- upřednostňovat výtažky rotačního tvaru s rovným dnem
- příruby na výtažku používat jen v nevyhnutelných případech
- tolerovat rozměry tak, aby se výtažky již nemusely kalibrovat
- volit materiály s dobrými tažnými vlastnostmi
- volba vhodného maziva

2.9 Tažné stroje [10]

Pro technologii tažení plechů se nejčastěji používají mechanické a hydraulické lisy. Další rozdělení lisů je na jednočinné, dvojčinné, vícečinné, speciální nebo postupové. Jedním ze základních parametrů lisů je jejich jmenovitá síla. Dle její velikosti se lisy dělí na lehké, střední a těžké. Jako další parametry lze uvést pracovní sílu, rychlost sjíždění a zdvih pracovního pístu.

V tvářecí výrobě se nejvíce používají mechanické lisy. Mezi ně patří lisy klikové a výstředníkové, které jsou vhodné pro nenáročné tahy. Více rozšířené jsou klikové lisy poháněné klikovým mechanismem. V porovnání s běžnými lisy jsou tažné vybaveny silnějším motorem a také rozměrnějším setrvačником, čímž dosahují většího zdvihu. Výhodami jsou jednoduchost a vysoký počet zdvihů. Mezi nevýhody patří pevná závislost rychlosti a síly beranu na konstrukci hnacího mechanismu.

Hydraulické lisy jsou silové stroje, které pracují s tzv. klidovým tlakem. K překonání deformačního odporu materiálu je využíváno převážně potenciální energie. Výhodami jsou dosažení konstantního tlaku a rychlosti během tváření, velikost tvářecí síly, snadná regulace nebo snadné seřízení při změně výtažku. Mezi nevýhody lze zahrnout velkou složitost konstrukce pohonu, menší účinnost, obtížné zjištění poruch a menší rychlost beranu. Nelze je přetížít.

Pro tažení s přidržovačem jsou nejvýhodnější speciální tažné lisy, tzv. dvojčinné. Drobné a středně velké výtažky lze táhnout na lisech jednočinných bez přidržovače nebo s přidržovačem mechanickým a pružinovým. Pomocí speciálních hydraulických nebo pneumatických přidržovačů lze táhnout i značně obtížné výtažky. Trojčinné lisy se používají pro náročné hluboké tažení např. v automobilovém průmyslu.



Obr. 2.9.1 Klikový tažný lis [16]

3. Experimentální část

Cílem bakalářské práce je optimalizace tažného nástroje pro výrobu víka 6". Důvodem je nepřijatelná míra zeslabování stěny u dna výtažku, které vede ke značné zmetkovitosti. Víka se dále používají k těsnění vzduchových měchů autobusů a jiných dopravních zařízení.

Firma provádí tažení na výstředníkovém lisu LE 160 technologií prostého tažení bez ztenčení stěny nástrojem s přídržovačem. Rozdílem je prohození horní a dolní částí nástroje, kde tažnice zastává zároveň funkci přídržovače. Více viz kapitola 3.2. Táhne se za studena na dva tahy, kde první i druhý táhneme stejným nástrojem se stejnými rozměry a poloměry zaoblení hran. Důvodem dvou tahů jsou lepší praktické výsledky oproti jednomu tahu. Dochází k menšímu zeslabování stěny výtažku v zaoblení u dna výtažku.



Obr. 3.1 Vzduchový měch [19]

Materiálem plechů je ocel s označením DC03. Je to hlubokotažná ocel bez povrchových úprav. Dle firemní materiálové dokumentace má plech mez pevnosti v tahu $R_m = 302 \text{ MPa}$, mez kluzu $R_{p0,2} = 182 \text{ MPa}$ a tažnost $A = 42,1 \%$ (viz příloha č. 2). Momentálně se používá mazivo Molydal H 470 (viz příloha č. 4). Firemní technologický postup výroby víka 6" je následovný:

1. Nákup plechové tabule jakosti DC03 FE PO 3 o rozměru 2000 x 1000 x 3 mm.
2. Stříhat tabuli na pásy o rozměru 2000 x 179,3 mm.
3. Natřít pás olejem, vystříhnout přístřih o průměru 175,3 mm.
4. Obě pracovní části nástroje (tažník, tažnici) pečlivě očistit.
5. Přístřih před tažením namazat olejem tak, aby olej nestékal.
6. První tah do hloubky 12 mm.
7. Seřadit nástroj na druhý tah.
8. Mazat olejem pokud je potřeba a dotáhnout výtažek na hloubku 16 mm.
9. Vystříhnout 4 otvory $\varnothing 11,5 \text{ mm}$.
10. Řádně odmastit výtažek.
11. Soustružit na $\varnothing 154 \text{ mm}$, dodržet tolerance. Odjehlit hrany.

3.1 Parametry výtažku

Základní rozměry a tolerance výtažku viz příloha č. 1. Výška výtažku $h = 16 \text{ mm}$, vnitřní průměr výtažku $d = 71,9 \text{ mm}$, průměr příruby $d_p = 154 \text{ mm}$. Stěna výtažku je skloněna pod úhlem 4° .

3.2 Sestava tažného nástroje

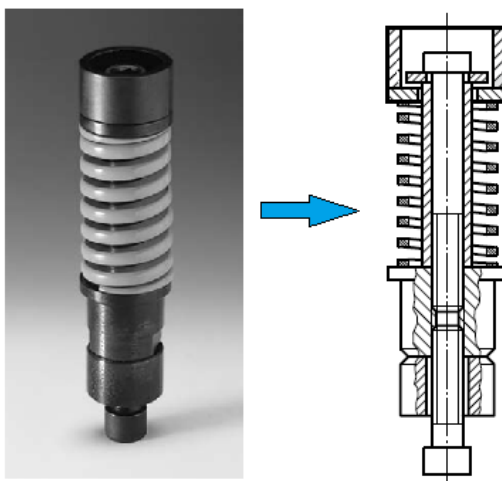
Sestava tažného nástroje (obr. 3.2.2) se skládá ze dvou základních částí – horní a dolní. Dolní část je tvořena základní deskou, ke které je přišroubována pryž. Pryž tlumí sílu vydávanou beranem lisu (tažnicí). Dále je tu kotevní deska, ke které je přišroubován tažník. Ta je přišroubována k základní desce. Jako poslední tu jsou zakládací kroužek a vodící kolíky, které vystředí celou dolní část nástroje. Vodící kolíky jsou pevně přidělané k zakládacímu kroužku a vedou skrz upínací desku a základní desku rovnou k pryži.

Horní část sestavy je tvořena tažnicí, upínací deskou a vyhazovačem. Tažnice je v tomto případě navržena tak, aby zároveň plnila funkci přidržovače. Je přišroubována k upínací desce. Pro odstranění výtažku s tažnice je tu mechanický pružinový vyhazovač, jehož funkce je vázaná na pohyb beranu lisu (Obr. 3.2.1).

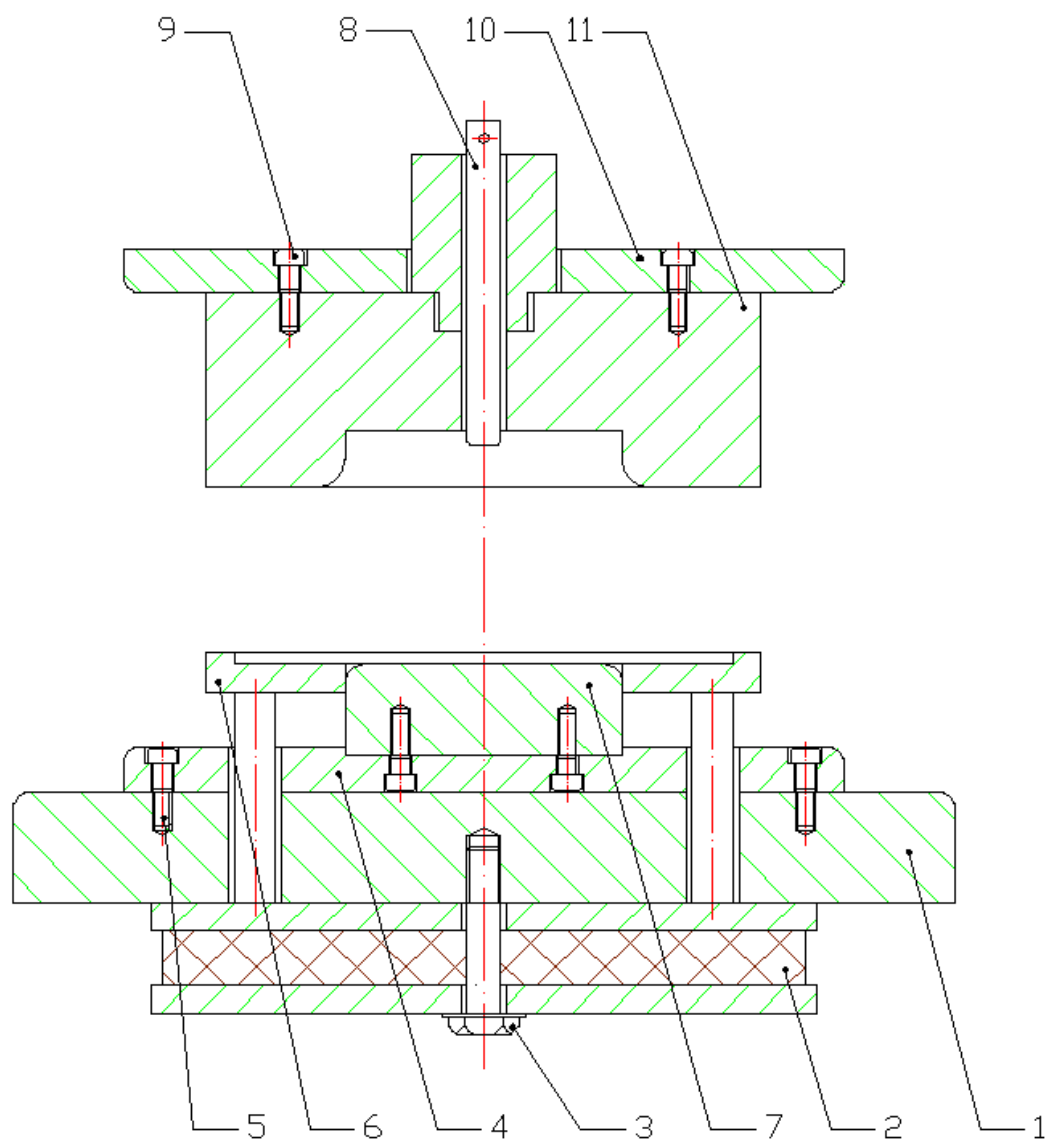
Tažník a tažnice jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19356. Je to nástrojová, nízkolegovaná vanadová ocel pro práci za studena. Její základní vlastností je vyšší houževnatost. Jejich stěny jsou zkoseny pod úhlem 4° .

Lis zatlačuje tažnici směrem dolů k tažníku. V zakládacím kroužku je vložen přístřih plechu. V okamžiku, kdy tažnice dosedne na zakládací kroužek je mezi tažnicí a přístřihem vůle zhruba 0,2 mm. Vůle je zde z důvodu zamezení tvorby vln na okraji výtažku. Jak tažnice tlačí na zakládací kroužek, tažník pomalu vtahuje přístřih do tažnice. Síla vyvinutá lisem je pomocí vodících kolíků přenesena na pryž a tlumena. Po vytažení potřebného tvaru se celá horní část vrátí zpět a výtažek je vyhozen pomocí pružinového vyhazovače ven z tažnice.

Tažník je opatřen odvodušňovacím otvorem o průměru 5 mm.



Obr. 3.2.1 Mechanický pružinový vyhazovač [22]

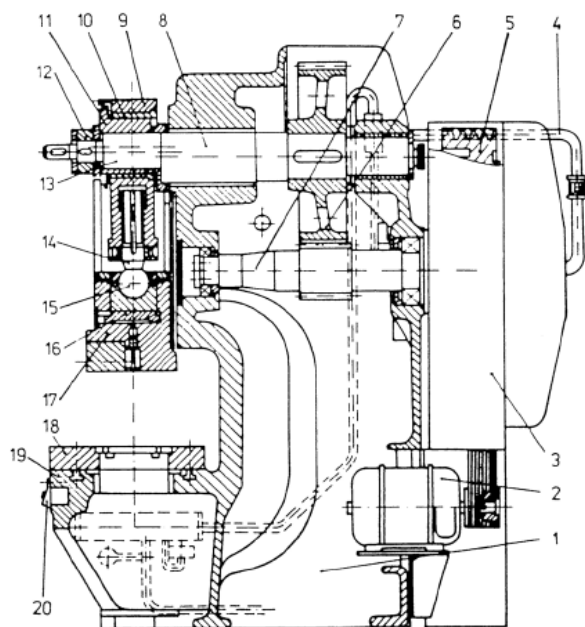


Obr. 3.2.2 Náčrt sestavy tažného nástroje [5]

- 1 – základní deska
- 2 – pryžový polštář
- 3 – šroub
- 4 – kotevní deska
- 5 – šroub
- 6 – zakládací kroužek
- 7 – tažník
- 8 – pružinový vyhazovač
- 9 – šroub
- 10 – upínací deska
- 11 – tažnice

3.3 Tvářecí lis

Tažení se provádí na výstředníkovém lisu typu LE 160. Jedná se o jedno stojanový lis vertikální konstrukce. Slouží především k plošnému tváření. Ke změně velikosti zdvihu beranu se používá výstředníkové pouzdro.



- 1 – stojan, 2 – elektromotor, 3 – kryt setrvačnicku, 4 – potrubí pro přívod vzduchu ke spojce, 5 – setrvačnick, 6 – převod ozubenými koly, 7 – předlokový hřídel, 8 – výstředníkový hřídel, 9 – ojnice, 10 – kluzné ložisko ojnice, 11 – výstředníkové pouzdro, 12 – zubová spojka, 13 – výstředník, 14 – šroub, 15 – kulový čep, 16 – střižná pojistka, 17 – beran, 18 – upínací stolová deska, 19 – stůl, 20 – ovládání lisu

Obr. 3.3.1 Náčrt Výstředníkové lisu [20]



Mezi základní parametry lisu patří:

- jmenovitá tvářecí síla: 160t
- zdvih beranu: 20 – 120 mm
- rozměr stolu: 1000 x 720 mm
- výkon elektromotoru: 11 kW
- otáčky elektromotoru: 1430/min
- otáčky setrvačnicku: 180/min

Obr. 3.3.2 Výstředníkový lis LE 160 [21]

3.4 Zkouška tažnosti materiálu

Statická zkouška tahem slouží pro určení základních mechanických vlastností materiálu. Zkoušeným materiálem je plech s označením DC03. D je označení pro ploché válcové výrobky určené k tváření za studena. C označuje výrobu plechu válcováním za studena. Plech je bez povrchové úpravy. Označení dle evropské normy je EN 10130/91 a podle české normy ČSN 11301.

Všechna měření a přípravy byly provedeny v laboratořích zkoušení kovů na TU v Liberci. Tahová zkouška se prováděla na trhačím stroji TIRAtest 2300 (Obr. 3.4.1) dle normy EN ISO 6892-1. Jedná se o stroj sloužící k měření mechanických vlastností materiálu. Umožňuje zkoušky jednoosé napjatosti v tahu a tlaku. Stroj je řízen počítačovým programem, který zároveň provádí statistické zpracování naměřených dat. Jeho rozsah se mění výměnou měřících hlav. TIRAtest 2300 je opatřen průtahoměrem MFN-A a snímací tenzometrickou hlavou 10 kN nebo 500 kN.

Zkušební vzorek plechu byl připraven v souladu s EN ISO 377, která stanovuje zásady odběru a zpracování zkušebních vzorků z oceli pro mechanické zkoušení.

Postup tahové zkoušky:

1. Vzorek plechu umístíme do trhačího stroje.
2. Nasadíme na vzorek čelisti průtahoměru.
3. Nastavíme parametry trhačky pro tahovou zkoušku
4. Za asistence vedoucího bakalářské práce spustíme trhačku
5. Sledujeme průběh tahové zkoušky
6. Po přetržení vzorku jej vyjmeme z trhačky (Obr. 3.4.2)
7. Prostudujeme naměřená data
8. Celý postup opakujeme

K základním vyhodnocovaným parametrům patří smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$, mez pevnosti v tahu R_m , tažnost A_{50mm} a kontrakce Z . V úvahu se také musí vzít i schopnost deformačního zpevnění materiálu. Obvykle se vyjadřuje poměrem $R_{p0,2}/R_m$, který se považuje za vhodný, je-li $0,6 < R_{p0,2}/R_m < 0,8$. Vyhodnocení proběhlo pomocí počítače. Celé měření se provádělo 5x (viz příloha č. 5).

Průměrné hodnoty vyhodnocené po 5 zkouškách:

$$R_m = 296 \text{ Mpa}$$

$$R_{p0,2} = 202 \text{ Mpa}$$

$$A_{50mm} = 52 \%$$

$$\left(\frac{R_{p0,2}}{R_m}\right) = \left(\frac{202,5}{296,4}\right) = 0,68 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Z výsledků je zřejmé, že ocel DC03 je vhodná pro mělké i hluboké tažení vzhledem k vysoké tažnosti oceli.



Obr. 3.4.1 Trhací stroj TIRAtest 2300 [23]



Obr. 3.4.2 Přetržený vzorek plechu [24]

3.5 Měření vlivu maziva na ztenčení stěny výtažku

Toto měření nám ukáže vliv jednotlivých maziv na ztenčení stěny vadného výtažku v místě zaoblení klobouku. K dispozici bylo 6 vadných výtažků. 3 výtažky se zažehleným kloboukem a 3 výtažky s nezažehleným kloboukem. Zažehlení klobouku znamená, že byl vytažen na konečnou hloubku 16 mm, který je požadován dle výkresové dokumentace. U každého ze tří výtažků bylo použito jiné mazivo. Prvním mazivem je běžný tvářecí olej používaný společností Cedima Meziměstí s.r.o., ke kterému nejsou známy bližší specifikace. Druhým mazivem je olej s označením RENOFORM FW 9. Je to mazivo s obsahem polárních přísad určené k tažení a je nemísitelné vodou (viz příloha č. 3). Mazivo používané v současné době firmou je olej pod názvem Molydal H 470. Díky aditivům pro extrémní tlak a opotřebení je určen pro nejnáročnější operace (tažení, hluboké tažení, stříhání, ohýbání atd.). Možnost použití pro všechny materiály. Je snadno odstranitelný z povrchu kovů (viz příloha č. 4).

Postup přípravy a měření vzorků:

1. Řezání vzorků
2. Zalití vzorků do dentakrylu
3. Tuhnutí vzorků
4. Broušení vzorků
5. Porovnání jednotlivých vzorků
5. Měření pod optickým mikroskopem
6. Vyhodnocení výsledků

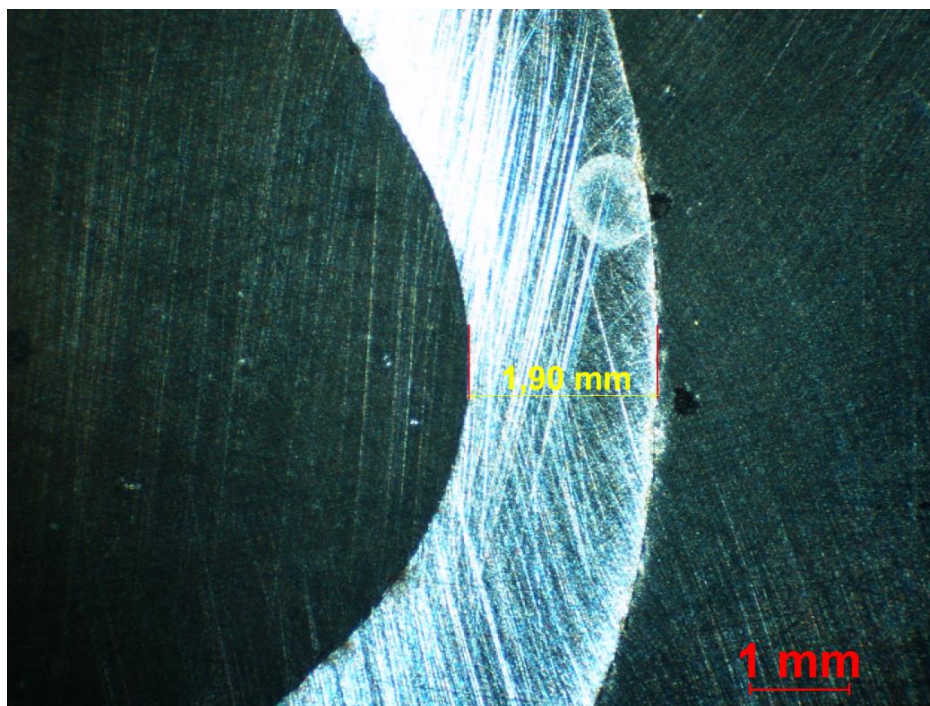
Každý vzorek pro měření pod mikroskopem byl připraven ručně. Na vzorku byla vybrána ta část, kde se ztenčuje stěna výtažku (zaoblení klobouku). Všechny vzorky byly vyřezány na vertikální pile na vhodnou velikost. Následně se vzorky vložily do plastových kalíšků a zalily se do čirého technického dentakrylu. Po zatuhnutí dentakrylu byly vzorky broušeny pod vodou smirkovými papíry o zrnitosti 100, 200, 400, 800 a 1200. Na takto upravených vzorcích je ztenčení stěny v místě zaoblení klobouku viditelné pouhým okem. Vzorek s největším ztenčením stěny je vyobrazen na obr. 3.5.1. Ostatní jsou vyobrazeny v příloze č. 6. Měření se provádělo na optickém mikroskopu NEOPHOT 2 (Obr. 3.5.2). Vzorky musejí mít dokonale hladký povrch, aby bylo možné bez větších problémů rozeznat největší zeslabení materiálu. Vyhodnocení je prováděno pomocí programu LUCIA. Na obr. 3.5.3 je vidět postup měření pod mikroskopem. Každý vzorek byl měřen 2x, aby byla zajištěna větší přesnost měření.



Obr. 3.5.1 Viditelné ztenčení na vzorku číslo 4



Obr. 3.5.2 Optický mikroskop NEOPHOT 2



Obr. 3.5.3 Měření mikroskopem NEOPHOT 2

[Tab. 3.9.1] Výsledky měření zeslabení stěny výtažku v zaoblení klobouku

| Číslo vzorku | Zažehlen / nezažehlen | Mazivo | 1. naměřená hodnota [mm] | 2. naměřená hodnota [mm] | Průměrné zeslabení stěny [mm] |
|--------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 1 | Zažehlen | Běžný tvářecí olej | 1,67 | 1,71 | 1,69 |
| 2 | Zažehlen | RENOFORM FW 9 | 1,91 | 1,90 | 1,905 |
| 3 | Zažehlen | Molydal H 470 | 1,92 | 1,93 | 1,925 |
| 4 | Nezažehlen | Běžný tvářecí olej | 1,67 | 1,67 | 1,67 |
| 5 | Nezažehlen | RENOFORM FW 9 | 1,83 | 1,85 | 1,84 |
| 6 | Nezažehlen | Molydal H 470 | 1,90 | 1,91 | 1,905 |

Z výsledků (tab. 3.5.1) je zřejmé, že maziva mají značný vliv na průběh tažení. Jako nejlepší mazivo se ukázal olej Molydal H 470. Vzhledem k velikosti zeslabování stěny lze doporučit táhnout za pomoci co možná nejvyššího maziva určeného pro tažení plechů.

3.6 Kontrolní výpočty současného stavu řešení

Průměr přístřihu určený firmou je 175,3 mm. Po dvou tazích je vnitřní průměr výtažku 71,9 mm a průměr příruby 162 mm. Konečný průměr příruby má být 154 mm, což znamená, že se musí obrobit 8 mm na průměru. Zaoblení hrany tažnice pro první i druhý tah je 5 mm a zaoblení hrany tažníku 4 mm. Rozměry tažnice a tažníku pro oba tahy jsou stejné.

Nyní se provedou výpočty založené na vztazích a tabulkách z odborných knih a porovnájí se se skutečnou situací.

Určení velikosti přístřihu

Vychází se ze vztahu pro výpočet velikosti přístřihu D_0 pro válcový výtažek s přírubou:

$$D_0 = \sqrt{d_p^2 + 4 \cdot d \cdot h - 3,44 \cdot d \cdot R_{tk}} \quad (19)$$

d_p průměr příruby výtažku [mm]

R_{tk} ... poloměr zaoblení tažníku [mm]

d vnitřní průměr výtažku [mm]

h výška výtažku [mm]

$$D_0 = \sqrt{154^2 + 4 \cdot 71,9 \cdot 16 - 3,44 \cdot 71,9 \cdot 4} = 165,3 \text{ mm}$$

Z důvodu nerovnosti okrajů vzniklých anizotropií materiálu při tažení se průměr přístřihu zvýší o 4%.

$$D_0 = 165,31 \cdot 1,04 = 171,9 \text{ mm}$$

Určení součinitele tažení a počtu tahů

Nejdříve se určí počet tahů potřebných pro úspěšné tažení podle vztahu (2):

$$m = \left(\frac{d}{D_0} \right) = \frac{71,9}{171,9} = 0,42 \quad (2)$$

Z tabulky 2.3.1 je vidět, že vypočtená hodnota m je menší než nejnižší uvedená hodnota v tabulce. Z toho vyplývá, že se bude muset táhnout na dva tahy. Součinitel pro první a druhý tah určíme z již uvedené tabulky pomocí tohoto poměru:

$$\left(\frac{t_0}{D_0} \right) \cdot 100 = \frac{3}{171,9} \cdot 100 = 1,75 \Rightarrow \text{tab. 2.3.1} \Rightarrow m_1 = 0,50$$

Pro první tah je součinitel tažení $m_1 = 0,50$. Provedeme výpočet na určení průměru výtažku pro první tah podle vztahu (3):

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,50 \cdot 171,9 = 85,95 \text{ mm} \quad (3)$$

Průměr tažníku pro první tah bude 86 mm. Nyní se určí průměr tažníku pro druhý tah stejným způsobem jako pro první tah:

$$\left(\frac{t_0}{D_0}\right) \cdot 100 = \frac{3}{171,9} \cdot 100 = 1,75 \Rightarrow \text{tab. 2.3.1} \Rightarrow m_2 = 0,77$$

$$d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,77 \cdot 85,95 = 66,18 \text{ mm} \quad (3)$$

Průměr tažníku se musí zvolit $d_2 = 71,9$ mm, aby měl výtažek parametry podle výkresové dokumentace.

Tažná mezera

Pro výpočet tažné mezery se použije vztahů (5), (6) z předešlých textů:

První tah:

$$z_m = (1,2 \div 1,3) \cdot t_0 = 1,2 \cdot 3 = 3,6 \text{ mm} \quad (5)$$

Druhý tah:

$$z_m = (1,1 \div 1,2) \cdot t_0 = 1,1 \cdot 3 = 3,3 \text{ mm} \quad (6)$$

Tažný poloměr

K výpočtu se využije vztahu (8):

První tah:

$$R_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d_1) \cdot t} = 0,8 \cdot \sqrt{(171,9 - 86) \cdot 3} = 12,8 \text{ mm} \quad (8)$$

Zaoblení tažné hrany tažnice pro první tah je 13 mm. Zaoblení tažníku se volí zhruba $(1,5 \div 2) \times$ menší než zaoblení hrany tažnice. Dle tohoto poznatku se zvolí zaoblení tažníku 6 mm. Pro druhý tah bude zaoblení hrany tažníku a tažnice dle parametrů výtažku. To znamená, že zaoblení tažnice pro druhý tah bude 5 mm a zaoblení tažníku pro druhý tah budou 4 mm.

Použití přidržovače

Nejprve se vypočte porovnávací hodnota α , podle které se poté zjistí potřeba použití přidržovače. Vychází se ze vztahů (13) a tabulky 2.6.1:

$$\alpha = 50 \cdot \left(k_1 - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{3}}{\sqrt[3]{171,9}} \right) = 79,5 \quad (13)$$

Dle vztahů (14), (15) se určí potřeba použití přidržovače:

$$\alpha \geq \left(\frac{100 \cdot d_1}{D_0} \right) \Rightarrow 79,5 \geq \left(\frac{100 \cdot 86}{171,9} \right) \Rightarrow 79,5 \geq 50 \Rightarrow \text{PLATÍ} \quad (14)$$

Je nutno použít přidržovač.

Rychlost tažení

Běžná rychlost tažení u hlubokotažných ocelí se pohybuje v rozmezí $v = (10 \div 17) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Musíme přihlídnout k parametrům stroje, aby navrhovaná rychlost odpovídala možnostem stroje.

Výpočet celkové tažné síly a práce

Tažná síla

Vychází se ze vztahu (9) a tab. 2.5.1:

První tah:

$$F_{t1} = C \cdot \pi \cdot d_1 \cdot t_0 \cdot R_m = 1 \cdot \pi \cdot 86 \cdot 3 \cdot 296 = 240 \text{ kN} \quad (9)$$

Druhý tah:

$$F_{t2} = C \cdot \pi \cdot d_2 \cdot t_0 \cdot R_m = 0,9 \cdot \pi \cdot 71,9 \cdot 3 \cdot 296 = 180,5 \text{ kN} \quad (9)$$

Přidržovací síla

Vychází se ze vztahu (10) a tabulky 2.5.2.

První tah:

$$F_{p1} = S_{př} \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - (d_1 + 2 \cdot R_{tc})^2) \cdot p = 13356 \cdot 2,5 = 33,4 \text{ kN} \quad (10)$$

Druhý tah:

$$F_{p2} = S_{př} \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot (d_p^2 - (d_2 + 2 \cdot R_{tc})^2) \cdot p = 13359 \cdot 2,5 = 33,4 \text{ kN} \quad (10)$$

Celková tažná síla

Vycházíme ze vztahu (11).

První tah:

$$F_{c1} = F_{t1} + F_{p1} = 240 + 33,4 = 273,4 \text{ kN} \quad (11)$$

Druhý tah:

$$F_{c2} = F_{t2} + F_{p2} = 180,5 + 33,4 = 213,9 \text{ kN} \quad (11)$$

Tažná práce

Vychází se ze vztahu (12).

Pro první tah:

$$A_1 = F_{c1} \cdot h_1 \cdot Z = 273400 \cdot 0,012 \cdot 0,8 = 2625 \text{ J} \quad (12)$$

Druhý tah:

$$A_2 = F_{c2} \cdot h_2 \cdot Z = 213900 \cdot 0,016 \cdot 0,8 = 2738 \text{ J} \quad (12)$$

Tažná síla je ve skutečnosti menší, než tahná síla stanovená podle vzorce pro výpočet.

Když se porovnájí výsledky z výpočtů se skutečnou situací tažení ve firmě, tak je vidět, že se vůbec neshodují. Dalo by se doporučit, aby se firma držela vypočteného procesu tažení, ale vzhledem k již zaběhlé situaci tažení a malosériové výrobě víka 6" lze doporučit tento postup tažení. První tah by se táhl na vnitřní průměr výtažku 71,9 mm se zaoblením tažné hrany tažnice 12 mm a zaoblením tažné hrany tažníku 5 mm do hloubky 10 mm. Zaoblení 12 mm se volí vzhledem k předešlé teorii, která říká, že doporučené zaoblení tažné hrany tažnice je rovno $(4 \div 10)$ násobku tloušťky taženého materiálu. Druhý tah by se táhl do hloubky 16 mm tak, aby se dodrželo parametrů dle výkresové dokumentace. To znamená, že zaoblení tažné hrany tažnice by se volilo 5 mm a zaoblení tažné hrany tažníku 4 mm. Tímto postupem se sníží napětí vzniklé v materiálu u dna výtažku a zamezí se tak zeslabování stěny.

4. Vyhodnocení výsledků a jejich diskuse

Jako první se měřila tažnost ocelového plechu DC03. Průměrné výsledky vlastností oceli byly získány po 5 tahových zkouškách: $R_m = 296 \text{ MPa}$, $R_{p0,2} = 202 \text{ MPa}$, $A_{50\text{mm}} = 52\%$. Výsledky se porovnali s katalogovými hodnotami a bylo zjištěno, že materiál je vhodný pro mělké i hluboké tažení.

Druhým měřením se porovnával vliv různých druhů maziv na ztenčování stěny výtažku v průběhu tažení. Bylo zjištěno, že maziva mají velký vliv na průběh tažení a konkrétně i na ztenčování stěny výtažku. Doporučením, získaným tímto měřením, je používat co možná nejkvalitnější druh maziva.

Jako poslední se provedla výpočtová část pomocí odborných knih a výsledky se porovnali se skutečnou situací ve firmě. Zjistilo se, že největším nedostatkem při tažení víka 6" je příliš malé zaoblení hrany tažnice. Firma táhne víko 6" na dva tahy a u obou tahů se použije poloměr zaoblení tažné hrany tažnice 5 mm. Podle odborných knih má však zaoblení hrany tažnice být nejméně čtyřnásobkem tloušťky taženého materiálu. Proto dochází k přílišnému zeslabování stěny výtažku. Z těchto poznatků se navrhla optimalizace nástroje, aby se zeslabování co nejvíce omezilo. Pro první tah byl tedy zvolen poloměr zaoblení tažné hrany tažnice 12 mm a poloměr zaoblení tažné hrany tažníku 5 mm. Bude se táhnout do hloubky 10 mm. Touto úpravou by se mělo snížit napětí vzniklé v materiálu u dna výtažku. Druhý tah se provádí se stejnými úpravami nástroje jako v současné době. Důvodem je zachování parametrů výtažku dle výkresové dokumentace a vyhovět tak potřebám zákazníka. Tyto parametry je důležité zachovat kvůli těsnění víka 6" na vzduchovém měchu.

Dalšími doporučeními jsou dodržování tažné mezery, aby se materiál mohl volně přemísťovat a nepřechoval se. Dodržení tažné rychlosti $(10 \div 17) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ k plynulému tažení bez porušení materiálu. Jako poslední je změna velikosti přístřihu ze 175,3 mm na 171,9 mm. Omezíme se tím, možná i vyloučí, potřeba obrábění příruby po technologii tažení.

5. Závěr

Cílem práce bylo nalezení vhodného řešení na odstranění vady zeslabování stěny u dna výtažku a snížení zmetkovitosti vyráběného víka 6".

Byly vzaty v úvahu různé způsoby řešení. Vhodnost materiálu, maziva a správně navržený tažný nástroj. Jako nejvhodnější řešení se nakonec ukázala optimalizace nástroje. Upravit parametry tažnice, tažníku pro první tah a tím snížit napjatost materiálu u dna výtažku.

V práci byla vypracována teoretická část, která nás uvede do problematiky tažení rotačních výtažků. Dále pak experimentální část, kde byla zpracována současná situace tažení víka 6" (technologický postup výroby víka 6", sestava tažného nástroje, tažný lis), měření vhodnosti taženého materiálu, porovnání vlivu maziv na zeslabování stěny výtažku, kontrolní výpočty a porovnání současné situace s vypočtenými hodnotami a nakonec navržení nejlepšího řešení problému.

Konečné úprava nástroje není ekonomicky ani časově náročná a měla by plně odstranit výrobu vadných výtažků nebo ji alespoň z velké části omezit.

6. Seznam použité literatury

- [1] SEMIATIN, S.L. *ASM Handbook: Volume 14B: Metal Working: Sheet Forming*. Ed. S. L. Semiatin, Elizabeth MARquard, Heather Lampman, Cindy Karcher, a Beverly Musgrove. [s.l.]: ASM International, 2006 924 s. ISBN 0871707101.
- [2] BAREŠ, K: *Lisování*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1971.
- [3] TSCHÄTSCH, H. *Metal Forming Practise: Processes - Machines - Tools*. 1. vyd. [s.l.]: Springer, 2006 417 s. ISBN 3540332162.
- [4] Dle doporučení vedoucího.
- [5] Technická firemní dokumentace.
- [6] LENFELD, P. *Technologie II.* – za podpory projektu FRVŠ 1998/2005 [online] 2012 [cit. 2012-5-10]
Dostupný z: < www.ksp.tul.cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm >.
- [7] PRIMUS, F. *Teorie tváření plechu a trubek*. Praha, ČVUT 1980. Vydavatelství ČVUT.
- [8] PETRUŽELKA, J., BŘEZINA, R. *Úvod do tváření II plošné tváření*. Ostrava 2001. [online] 2012 [cit. 2012-5-10]
Dostupný z: < www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf >
- [9] KOTOUČ, J. et al. *Tvářecí nástroje* 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
- [10] TIŠNOVSKÝ, M., MÁDLE, L. *Hluboké tažení plechu na lisech* 1. Vyd. Praha, SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.
- [11] DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. *Technologie tváření – plošné a objemové tváření*, edit. Rektorát VUT v Brně 2003, ISBN 80-214-2340-7.
- [12] ŠPINLEROVÁ, M. *Technologie*. Opava 2007. [online] 2012 [cit. 2012-5-10]
Dostupný z: < www.sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf >
- [13] ČADA, R. *Postupy údržby I.*, studijní opory pro podporu v oboru strojírenství, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, [online] 2012, Dostupný z: < www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PU1/Postupy-udrzby-I.pdf >
- [14] *Fyzikální základy vědy o materiálu* [online] 2012 [cit. 2012-5-10]
Dostupný z: < www.ped.muni.cz/wphy/FyzVla/FMkomplet3.htm >
- [15] HRUBÝ, J. *Materiály pro tváření a tvářecí nástroje* [online] 2012 [cit. 2012-5-10], Dostupný z: <www.345.vsb.cz/jirihruby/KTN/02_Materialy.pdf>
- [16] Hoch metal bearbeitung [online] 2012 [cit. 2012-5-10]
Dostupný z: < www.hmb.cz >
- [17] Dilo [online] 2012 [cit. 2012-5-10]
Dostupný z: < www.dilo-svratouch.cz/articles.php?article_id=5 >
- [18] ScienceDirect [online] 2012 [cit. 2012-5-10] Dostupný z: < www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092401360000813X >

- [19] Truck-forum [online] 2012 [cit. 2012-5-10]
Dostupný z: < www.truck-forum.cz >
- [20] MAŇAS, S. *Výrobní stroje a zařízení – část: tvářecí stroje*, Praha 2006/2007
Dostupný z: < www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/VSZ_-_2351054/VSZ_-_Tvareci_stroje.pdf >
- [21] Inzerce² [online] 2012 [cit. 2012-5-10]
Dostupný z: < www.inzerce2.cz/inzerat-34340/vystrednikovy-lis-le-160/a >
- [22] Gore [online] 2012 [cit. 2012-5-10] Dostupný z: < www.gore.cz >
- [23] Oddělení tváření kovů a plastů [online] 2012 [cit. 2012-5-10]
Dostupný z: < www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/kovy/kovy.htm >
- [24] Pilsedu [online] 2012 [cit. 2012-5-10]
Dostupný z: < www.spstr.pilsedu.cz >
- [25] Hyperinzerce [online] 2012 [cit. 2012-5-10]
Dostupný z: < pristroje.hyperinzerce.cz/mikroskopy-opticke-pristroje/inzerat/4563151-metalograficky-mikroskop-neophot-2-nabidka-slovensko >
- [26] Cedima Meziměstí s.r.o. [online] 2012 [cit. 2012-5-10]
Dostupný z: < <http://cz.cedima.eu> >

7. Seznam příloh

1. výkres výtažku – VÍKO 6"
2. materiálový list společnosti Cedima Meziměstí s.r.o.
3. mazivo RENOFORM FW 9
4. mazivo Molydal H 470
5. statická zkouška tahem oceli DC 03
6. vzorky zalité do dentakrylu

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a license for its use, I am aware of the fact that i must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that i pay the expenses invested in creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of thesis and a consultant.

Date:

Signature: